

**This Page Is Inserted by IFW Operations
and is not a part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

**Defective images within this document are accurate representation of
The original documents submitted by the applicant.**

Defects in the images may include (but are not limited to):

- **BLACK BORDERS**
- **TEXT CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**
- **FADED TEXT**
- **ILLEGIBLE TEXT**
- **SKEWED/SLANTED IMAGES**
- **COLORED PHOTOS**
- **BLACK OR VERY BLACK AND WHITE DARK PHOTOS**
- **GRAY SCALE DOCUMENTS**

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

**As rescanning documents *will not* correct images,
please do not report the images to the
Image Problem Mailbox.**

This Page Blank (uspto)



19 BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENTAMT

12 Offenlegungsschrift
10 DE 196 03 514 A 1

51 Int. Cl.⁸:
H 04 B 7/08
H 04 B 7/26

21 Aktenzeichen: 196 03 514.7
22 Anmeldetag: 1. 2. 96
43 Offenlegungstag: 7. 8. 97

DE 196 03 514 A 1

71 Anmelder:
Becker GmbH, 76307 Karlsbad, DE

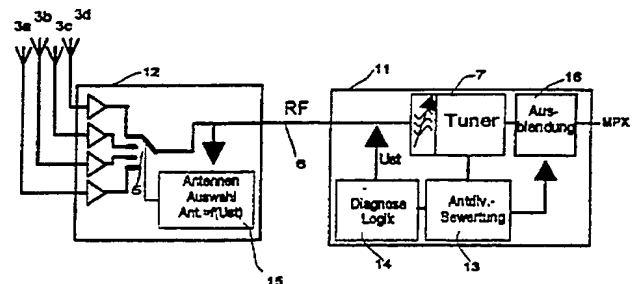
72 Erfinder:
Becker, Karl Anton, 76307 Karlsbad, DE; Brinkhaus,
Stefan, 75196 Remchingen, DE

56 Entgegenhaltungen:
DE 42 04 490 A1
DE 39 40 852 A1
GB 22 62 414 A
US 45 12 034

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

54 Mobiles Funkempfangssystem mit Antennendiversity

57 Die Erfindung betrifft ein mobiles Funkempfangssystem mit Antennendiversity, mit einem Funkempfänger (11), mehreren Antennen (3a-d), einem Antennenwahlschalter (5, 15) zur Auswahl einer der Antennen und einer Auswerteschaltung (13, 14), welche die Empfangsqualität des gerade empfangenen Funksignals bewertet und bei Bedarf den Antennenwahlschalter steuert, auf eine andere Antenne umzuschalten, wobei der Antennenwahlschalter in einer von dem Funkempfänger getrennten Einheit (12) untergebracht und über eine Hochfrequenzleitung (6) mit dem Funkempfänger verbunden ist. Gemäß der Erfindung ist die Auswerteschaltung (13, 14) in dem Funkempfänger (7) untergebracht und werden von der Auswerteschaltung gelieferte Informationen zur Antennenauswahl an den Antennenwahlschalter (5, 15) übertragen. Auf diese Weise ist der Zeitpunkt eines Antennenwechsels im Funkempfänger bekannt, so daß bei einer Antennenumschaltung entstehende Störimpulse auf einfache Weise ausgeblendet werden können.



DE 196 03 514 A 1

Beschreibung

Die Erfindung betrifft ein mobiles Funkempfangssystem mit Antennendiversity.

Beim mobilen VHF-Rundfunkempfang bringt die Nutzung mehrerer Antennensysteme mit unterschiedlichen Eigenschaften hinsichtlich Richtcharakteristik, Polarisations-ebene und Position erhebliche Vorteile mit sich. Durch rechtzeitige Auswahl der richtigen Antennen können Feldstärkeeinbrüche ausgeglichen werden. Mehrwegeempfang sowie Störungen durch Gleichkanal oder Nachbarkanäle können reduziert werden, sofern der Einfallswinkel der Störungen sich deutlich von dem des Nutzkanals unterscheidet.

In der Direktausstattung von KFZ werden Antennendiversitysysteme heute hauptsächlich in Kombination mit (verdeckten) Scheibenantennen genutzt. Diese Kombination hat vor allen das Ziel, das eingeschränkte Richtdiagramm von Scheibenantennen zu vervollständigen. Bei Verwendung von drei bis vier Antennen in einer Heckscheibe wird heute eine recht gleichmäßige Rundumempfindlichkeit erreicht.

Systeme, die als Nachrüstlösungen angeboten werden, sind meist direkt im Empfänger integriert und in der Regel für zwei Antennen ausgelegt, die an der Karosserie möglichst weit voneinander entfernt angeordnet sein sollen.

Man unterscheidet zwei Prinzipien. Am weitesten verbreitet ist das Scanningverfahren, das anhand von Fig. 1 erläutert wird.

Fig. 1 zeigt ein mobiles Funkempfangssystem mit Antennendiversity nach dem Stand der Technik, von dem die Erfindung im Oberbegriff des Patentanspruchs 1 ausgeht. Das Funkempfangssystem umfaßt einen Rundfunkempfänger 1 und eine sogenannte Diversitybox 2, die als eine von dem Rundfunkempfänger 1 getrennte Einheit ausgebildet ist, da bei der Direktausstattung nur ein geringer Anteil von Fahrzeugen damit bestückt wird. Die Diversitybox 2 ist in diesem Beispiel für vier Antennen 3a bis 3d ausgelegt. Die Antennen 3a bis 3d sind mit Antennenverstärkern 4a bis 4d in der Diversitybox 2 verbunden, und die verstärkten Antennensignale werden jeweils einem von vier Kontakten eines vierstufigen Antennenschalters 5 zugeführt. Der zentrale Kontakt des Antennenschalters 5 ist über eine Hochfrequenzleitung 6, in der Regel ein Koaxialkabel, mit dem Eingang eines Tuners 7 des Rundfunkempfängers 1 verbunden. Das Hochfrequenzsignal RF von der gerade ausgewählten Antenne wird dem Tuner 7 zugeführt, und ein Zwischenfrequenzsignal IF des Tuners 7 wird über separates Kabel 8 an die Diversitybox 2 zurückgespeist. Die Diversitybox 2 enthält eine Auswerteschaltung 9, welche das Zwischenfrequenzsignal IF verstärkt, demoduliert und auf Empfangsstörungen hin auswertet. Sobald ein Einbruch in der Empfangsqualität detektiert wird, veranlaßt die Auswerteschaltung 9 eine Antennenauswahlschaltung 10, den Antennenschalter 5 schnell auf eine Alternativantenne umzuschalten. Die Empfangsqualität wird erneut überprüft, und bei Bedarf wird die nächste Alternativantenne ausgewählt.

Besonders problematisch bei diesem Verfahren ist das Schaltgeräusch, das beim Antennenschalten im Signal entsteht. Deshalb muß bei diesem Verfahren durch geeignete Maßnahmen dafür gesorgt werden, daß keine zu häufigen Antennenwechsel stattfinden.

Nach einem zweiten bekannten Prinzip werden die phasenkorrigierten Signale der verschiedenen Antennen addiert. Damit ist es möglich, eine Vielzahl von

Richtcharakteristika zu erzeugen und ohne abrupte Übergänge die optimale Empfangsrichtung einzustellen. Nachteile dieser Verfahren sind der sehr große technische Aufwand sowie Probleme bei der Phasenzuordnung der Antennensignale bei geringen Pegeln, wodurch der Rauschpegel bei geringen Feldstärken überproportional ansteigt.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein mobiles Funkempfangssystem mit Antennendiversity zu schaffen, das es bei möglichst einfachem Aufbau ermöglicht, Störimpulse beim Antennenwechsel auszuschalten.

Diese Aufgabe wird bei einem gattungsgemäßen Empfangssystem erfindungsgemäß dadurch gelöst, daß die Auswerteschaltung in dem Funkempfänger untergebracht ist und daß von der Auswerteschaltung gelieferte Informationen zur Antennenauswahl an den Antennenauswahlschalter übertragen werden. Da der Schaltzeitpunkt des Antennenwechsels im Funkempfänger bekannt ist, können die beim Antennenwechsel entstehenden Störimpulse gezielt ausgeblendet werden.

Außerdem erfordert es wesentlich weniger Aufwand, die Informationen zur Antennenauswahl von der Auswerteschaltung an den Antennenauswahlschalter zu übertragen, als das vollständige Zwischenfrequenzsignal vom Funkempfänger an die Diversitybox zu übertragen, wie im Stand der Technik. Besonders einfach ist es, die Informationen durch eine Gleichspannung oder einen Gleichstrom auf der Hochfrequenzleitung zu übertragen, wobei verschiedene Intensitäten bzw. Intensitätsbereiche der Gleichspannung oder des Gleichstroms jeweils einer bestimmten Antenne entsprechen. In diesem Fall benötigen der Funkempfänger und die davon getrennte Einheit mit dem Antennenauswahlschalter nur eine einzige Verbindungsleitung. Ein Zwischenfrequenzkabel mit den zugehörigen Stecksystemen sowie Zwischenfrequenzverstärker und -demodulatoren in der Diversitybox entfallen.

Ein weiterer Vorteil ist, daß das erfindungsgemäße System auf einfache Weise diagnosefähig gemacht werden kann, da die Antennen vom Rundfunkempfänger, insbesondere dem Autoradio aus ausgewählt werden können. Ferner kann während der Prüfung von Alternativsendern bei einem sogenannten RDS-Autobestsuchlauf die Hauptantenne ausgewählt werden, um für gleiche Empfangsbedingungen zu sorgen. Da beim Autobestverfahren eine ähnliche Signalauswertung wie beim Antennendiversity stattfindet, können die beiden Arten von Signalauswertungen unter Umständen von einer einzigen Schaltung durchgeführt werden, so daß eine der Auswerteschaltungen eingespart werden kann.

Weiter gelingt es gegenüber dem Stand der Technik den Schaltungsaufwand und damit die Störquellen zu reduzieren, indem auf redundante Baugruppen in der Diversitybox und im Funkempfänger wie Zwischenfrequenzfilter, Demodulatoren verzichtet wird.

Schließlich kann die Zwischenfrequenzlage im Tuner beliebig gewählt werden. Der Umstand, daß bei der Auswahl von Zwischenfrequenzen im Tuner keine Rücksicht auf das Antennendiversity genommen werden muß, erlaubt es überdies, auf einfache Weise ein Diversitysystem zur gemeinsamen Nutzung eines Antennenarrays durch mehrere verschiedene Funkempfänger zu schaffen, etwa ein Autoradio und die Empfangsteile für Bild bzw. Ton eines mobilen Fernsehgerätes. Zu diesem Zweck können mehrere Antennenauswahlschalter zu einer Einheit zusammengefaßt werden, die eine Schaltmatrix zur Verbindung der Funkempfänger

mit den Antennen aufweist. Die Antennen können in diesem Fall überlappende Frequenzbereiche aufweisen, und jeder Funkempfänger kann auf diejenige unter den Antennen zugreifen, die das benötigte Signal gerade in der besten Qualität liefert.

Die beschriebene Art und Weise der Fernsteuerung eines Antennenscanners durch einen Funkempfänger, insbesondere ein Autoradio, läßt sich auch in Verbindung mit dem oben erwähnten Prinzip der Phasenkorrektur der verschiedenen Antennensignale realisieren. Ein mobiles Funkempfangssystem mit einem nach diesem Prinzip arbeitenden Antennendiversity umfaßt einen Funkempfänger, mehrere Antennen mit zugeordnetem steuerbaren Phasenschieber, eine Additionsstufe zur Zusammenfassung der Antennensignale und eine Auswerteschaltung mit einer Optimierungslogik zur Optimierung der phasenrichtigen Zusammenfassung der Antennensignale, wobei die Phasenschieber und die Additionsstufe in einer vom Funkempfänger getrennten Einheit untergebracht und über eine Hochfrequenzleitung mit dem Funkempfänger verbunden sind. Für die Optimierung der phasenrichtigen Zusammenfassung der Antennensignale kommen verschiedene Methoden in Frage, die in der Technik bekannt sind. Bei einem solchen Empfangssystem wird die oben erwähnte Aufgabe erfindungsgemäß dadurch gelöst, daß die Auswerteschaltung in dem Funkempfänger untergebracht ist und daß von der Auswerteschaltung gelieferte Informationen zur phasenrichtigen Zusammenfassung der Antennensignale an die Phasenschieber übertragen werden. Die oben erwähnten Vorteile der Erfindung werden auch in diesem Fall erhalten.

In den abhängigen Ansprüchen sind vorteilhafte und bevorzugte Weiterbildungen der Erfindung angegeben.

Weitere Merkmale und Vorteile der Erfindung ergeben sich aus der folgenden Beschreibung mehrerer Ausführungsbeispiele und aus der Zeichnung, auf die Bezug genommen wird. In der Zeichnung zeigen:

Fig. 1 ein mobiles Funkempfangssystem mit Antennendiversity nach dem Stand der Technik; und

Fig. 2, Fig. 3 und Fig. 4 jeweils eine Ausführungsform eines mobilen Funkempfangssystems mit Antennendiversity gemäß der Erfindung.

In den Fig. 1 bis 4 sind übereinstimmende Elemente mit gleichen Bezugszeichen bezeichnet.

Das in Fig. 2 gezeigte Funkempfangssystem enthält einen Rundfunkempfänger 11 und eine davon getrennte Diversitybox 12. Vier Antennen 3a bis 3d sind mit Antennenverstärkern 4a bis 4d in der Diversitybox 12 verbunden, und die verstärkten Antennensignale werden jeweils einem von vier Kontakten eines vierstufigen Antennenschalters 5 zugeführt. Der zentrale Kontakt des Antennenschalters 5 ist über eine Hochfrequenzleitung 6 mit einem Tuner 7 des Rundfunkempfängers 11 verbunden. Das Hochfrequenzsignal RF aus der gerade ausgewählten Antenne wird dem Tuner 7 zugeführt, und ein Zwischenfrequenzsignal des Tuners 7 wird einer Bewertungsschaltung 13 zugeführt, die im Rundfunkempfänger 11 angeordnet ist. Wenn die Bewertungsschaltung 13 einen Einbruch der Empfangsqualität feststellt, gibt sie ein Umschaltsignal an eine Logikschaltung 14 aus, die sich ebenfalls im Rundfunkempfänger 11 befindet. Die Logikschaltung 14 legt an die Seele der Hochfrequenzleitung 6 wahlweise bestimmte Gleichspannungen Ust an, die jeweils einer bestimmten Antenne entsprechen und die dem Hochfrequenzsignal RF überlagert werden (z. B. 0 V: Antenne 3a; 2 V: Antenne 3b; 4 V: Antenne 3c; 6 V: Antenne 3d). Bei Empfang eines Um-

schaltsignals von der Bewertungsschaltung 13 ändert die Logikschaltung 14 entsprechend ihrer internen Logik ihre Ausgangsspannung Ust. Eine Antennenauswahlschaltung 15 in der Diversitybox 12 fühlt die überlagerte Gleichspannung Ust auf der Hochfrequenzleitung 6 mit Hilfe von Fensterkomparatoren ab und stellt den Antennenschalter 5 auf die entsprechende Antenne ein.

Die Diversitybox 12 enthält somit neben den Antennenverstärkern 4a bis 4d lediglich einen Antennenauswahlschalter, bestehend aus dem Antennenschalter 5 und der Antennenauswahlschaltung 15. Der Rundfunkempfänger 11 muß eine Schaltung zur Signalauswertung enthalten, die in diesem Beispiel durch die Bewertungsschaltung 13 und die Logikschaltung 14 gebildet wird. Durch die Integration in den Rundfunkempfänger 11 läßt sich diese Schaltung häufig mit wesentlich weniger Aufwand als die Auswerteschaltung 9 in der Diversitybox 2 von Fig. 1 realisieren, da redundante Baugruppen entfallen.

Das Umschaltsignal der Bewertungsschaltung 13 wird außerdem einer Ausblendschaltung 16 im Rundfunkempfänger 11 zugeführt, die dem Tuner 7 nachgeschaltet ist. Bei Empfang eines Umschaltsignals von der Bewertungsschaltung 13 unterdrückt die Ausblendschaltung 16 kurzzeitig das an den nicht gezeigten NF-Teil des Rundfunkempfängers 11 übertragene Multiplexsignal, so daß bei einem Antennenwechsel entstehende Störimpulse ausgeblendet werden.

Im Falle einer Prüfung von Alternativsendern beim RDS-Autobest (in den Figuren nicht dargestellt) wird die Diversityfunktion kurzzeitig ausgeschaltet und die Logikschaltung 14 dazu gebracht, die der Fahrzeughauptantenne entsprechende Spannung auszugeben. Ferner kann im Falle einer Fahrzeugdiagnose die Logikschaltung 14 von außen angesteuert werden, eine bestimmte Antenne auszuwählen (ebenfalls nicht im einzelnen dargestellt).

Fig. 3 zeigt eine Variante des Ausführungsbeispiels von Fig. 2, bei der eine Antennenauswahlschaltung 15' in der Diversitybox 12' einen Steuerstrom Ip in die Hochfrequenzleitung 6 einprägt. Anhand des Steuerstroms Ip erkennt der Rundfunkempfänger 11', daß sich eine Diversitybox 12' im Fahrzeug befindet, und die Logikschaltung 14' ruft für eine Antennenauswahl unterschiedliche Widerstandsbelastungen R der Hochfrequenzleitung 6 hervor. Die Antennenauswahlschaltung 15' fühlt die entsprechend der Widerstandsbelastung R herrschende Spannung U auf der Hochfrequenzleitung 6 ab und stellt den Antennenschalter 5 entsprechend ein.

Die auszuwählende Antenne kann nicht nur eine Funktion der Gleichspannung Ust auf der Hochfrequenzleitung 6 sein, wie in Fig. 2 bzw. 3 gezeigt, sondern alternativ auch eine Funktion eines Gleichstroms auf der Hochfrequenzleitung 6 sein. Neben diesen Methoden zur Übertragung von Informationen zur Antennenauswahl an die Diversitybox 12, die allerdings besonders einfach zu realisieren sind, kommen aber auch noch andere Methoden zur Informationsübertragung in Frage, beispielsweise über sonstige Verbindungskabel oder -systeme, die unter Umständen ohnehin im Fahrzeug vorhanden sind. Prinzipiell sind als Steuersignale auch Wechselspannungen unterschiedlicher Modulationsarten denkbar.

Fig. 4 zeigt ein System zur Mehrfachausnutzung von Antennen bzw. Antennenarrays durch verschiedenartige und beliebig viele Funkempfänger, die in diesem Beispiel ein Radio-Tuner 17, ein Fernseh-Tuner 18 und

ein Fernsbild-Tuner 19 sind. Jeder der drei Tuner 17, 18 und 19 weist eine Auswerteschaltung auf, die zum Beispiel der Bewertungsschaltung 13 und Logikschaltung 14 von Fig. 2 entspricht, und ist über eine Hochfrequenzleitung mit einem Antennenschalter und einer Antennenauswahlschaltung wie in Fig. 2 verbunden. Die drei Antennenschalter sind jeweils wie in Fig. 2 mit den Ausgängen von vier Antennenverstärkern verbunden. Jeder Antennenverstärker ist an seinem Eingang mit einer von vier Antennen verbunden, die einander überlappende Frequenzbereiche aufweisen. Jeder der Tuner 17 bis 19 kann auf jede der Antennen zugreifen. Die Antennenschalter, die Antennenauswahlschaltungen und die Antennenverstärker, die eine ausreichende Entkopplung der Antennen und der Empfänger sicherstellen, sind in einer einzigen, als Verstärkerbox mit Antennennmatrix ausgebildeten Diversitybox 20 untergebracht.

Patentansprüche

1. Mobiles Funkempfangssystem mit Antennendiversity, das einen Funkempfänger, mehrere Antennen, einen Antennenwahlschalter zur Auswahl einer der Antennen und eine Auswerteschaltung umfaßt, welche die Empfangsqualität des gerade empfangenen Funksignals bewertet und bei Bedarf den Antennenwahlschalter steuert, auf eine andere Antenne umzuschalten, wobei der Antennenwahlschalter in einer von dem Funkempfänger getrennten Einheit untergebracht und über eine Hochfrequenzleitung mit dem Funkempfänger verbunden ist, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Auswerteschaltung (13, 14; 13, 14') in dem Funkempfänger (11) untergebracht ist und daß von der Auswerteschaltung gelieferte Informationen zur Antennenauswahl an den Antennenwahlschalter (5, 15) übertragen werden.
2. Mobiles Funkempfangssystem mit Antennendiversity, das einen Funkempfänger, mehrere Antennen mit zugeordnetem steuerbaren Phasenschieber, eine Additionsstufe zur Zusammenfassung der Antennensignale und eine Auswerteschaltung mit Optimierungslogik zur Optimierung der phasenrichtigen Zusammenfassung der Antennensignale umfaßt, wobei die Phasenschieber und die Additionsstufe in einer vom Funkempfänger getrennten Einheit untergebracht und über eine Hochfrequenzleitung mit dem Funkempfänger verbunden sind, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Auswerteschaltung in dem Funkempfänger untergebracht ist und daß von der Auswerteschaltung gelieferte Informationen zur phasenrichtigen Zusammenfassung der Antennensignale an die Phasenschieber übertragen werden.
3. Mobiles Funkempfangssystem nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Informationen zur Antennenauswahl oder zur phasenrichtigen Zusammenfassung der Antennensignale über die Hochfrequenzleitung (6) übertragen werden, die den Funkempfänger (11) mit der davon getrennten Einheit verbindet.
4. Mobiles Funkempfangssystem nach Anspruch 3, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Informationen zur Antennenauswahl oder zur phasenrichtigen Zusammenfassung der Antennensignale durch eine Wechsel- oder Gleichspannung bzw. einen Wechsel- oder Gleichstrom auf der Hochfrequenzleitung

(6) übertragen werden, wobei verschiedene Intensitäten oder Intensitätsbereiche der Wechsel- oder Gleichspannung bzw. des Wechsel- oder Gleichstroms jeweils einer bestimmten Antenne (3a, 3b, 3c, 3d) entsprechen.

5. Mobiles Funkempfangssystem nach Anspruch 1 und 4, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Auswerteschaltung eine Bewertungsschaltung (13), die ein Zwischenfrequenzsignal eines Tuners (7) des Funkempfängers (11) empfängt und die Empfangsqualität bewertet, und eine Logikschaltung (14; 14') umfaßt, welche auf der Basis der Qualitätsbewertung eine Wechsel- oder Gleichspannung (Ust), einen Wechsel- oder Gleichstrom oder einen ohmschen Widerstand (R) an der Hochfrequenzleitung (6) einstellt, die bzw. der einer auszuwählenden Antenne entspricht.

6. Mobiles Funkempfangssystem nach Anspruch 1 und 4 oder nach Anspruch 5, **dadurch gekennzeichnet**, daß der Antennenwahlschalter einen Antennenschalter (5), der wahlweise eine der Antennen (3a, 3b, 3c, 3d) mit dem Funkempfänger (11) verbindet, und eine Antennenauswahlschaltung (15) aufweist, welche die Hochfrequenzleitung (6) abfühlt und den Antennenschalter entsprechend der Intensität der Wechsel- oder Gleichspannung (Ust) oder des Wechsel- oder Gleichstroms oder der Stärke des ohmschen Widerstandes (R) einstellt.

7. Mobiles Funkempfangssystem nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, daß es weitere Funkempfänger (17, 18, 19) und zugehörige Antennenwahlschalter oder Phasenschieber und Additionsstufen umfaßt, welche die Antennen gemeinsam benutzen, wobei jeder Funkempfänger nach Bedarf auf die einzelnen Antennen zugreifen kann.

8. Mobiles Funkempfangssystem nach Anspruch 7, **dadurch gekennzeichnet**, daß mehrere Antennenwahlschalter oder Phasenschieber und Additionsstufen in einer Einheit (20) zusammengefaßt sind, die eine Schaltmatrix zur Verbindung der Funkempfänger mit den Antennen aufweist.

9. Mobiles Funkempfangssystem nach Anspruch 7 oder 8, **dadurch gekennzeichnet**, daß der oder die Funkempfänger Tuner (17, 18, 19) von Rundfunk- oder Fernsehgeräten für Fahrzeuge aufweisen.

10. Mobiles Funkempfangssystem nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, daß der Funkempfänger eine Ausblendschaltung (16) aufweist, durch welche beim Umschalten der Antennen das vom Tuner gebildete Signal ausblendbar ist.

Hierzu 3 Seite(n) Zeichnungen

- Leerseite -

Fig. 1 (Stand der Technik)

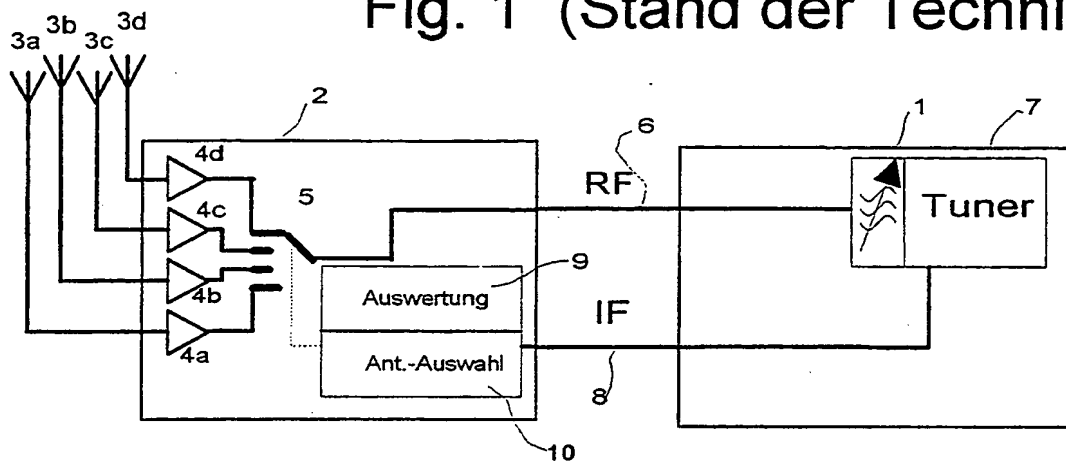
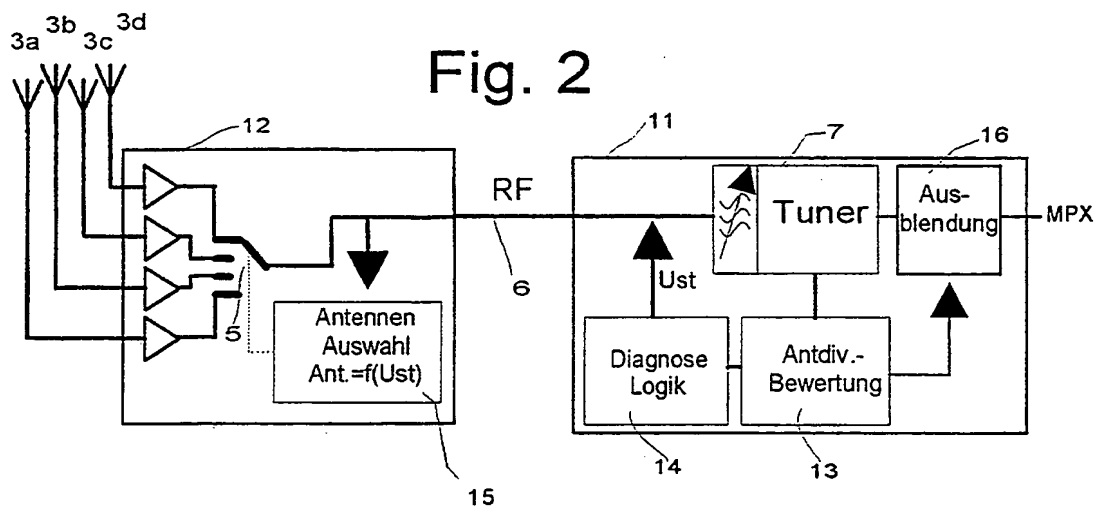


Fig. 2



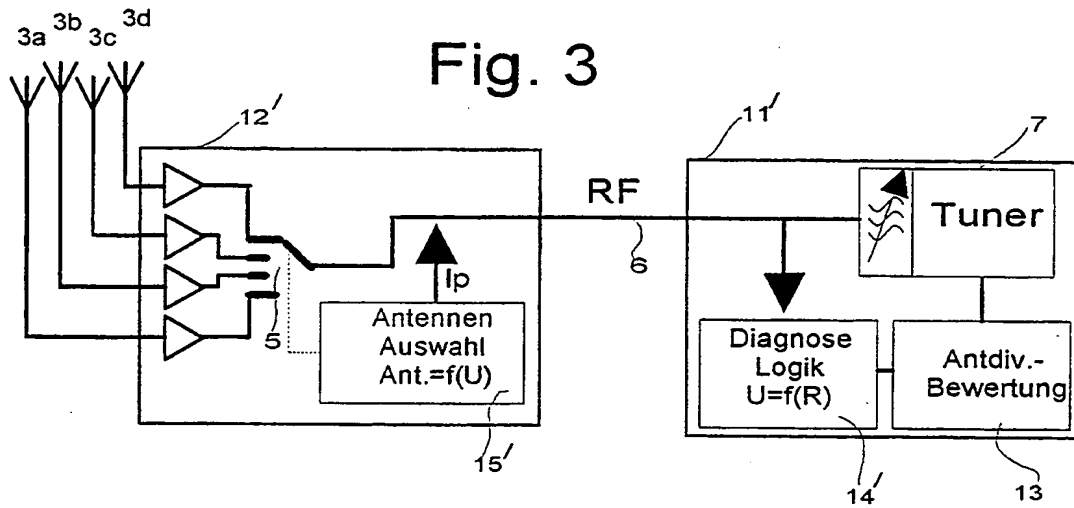


Fig. 4

